

ANALISIS PERANCANGAN ANTENA MIMO MIKROSTRIP LINGKARAN UNTUK *BROADBAND WIRELESS ACCESS (BWA) NOMADIC FREKUENSI 2,3 GHZ*

Ayis Nurwita¹, Rina Pudji Astuti², Budi Prasetya³

^{1,2,3}Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Telkom, Bandung

¹ayisn@yahoo.com, ²rpa@ittelkom.ac.id, ³bpy@ittelkom.ac.id

ABSTRAK

Broadband Wireless Access (BWA) merupakan suatu jaringan akses nirkabel pita lebar. BWA dapat dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan mobilitasnya, salah satunya adalah *BWA Nomadic*. Pada kebutuhan layanan BWA (*Broadband Wireless Access*) dikembangkan antenna MIMO (*multiple-input multiple-output*) yang dapat memberikan peningkatan kapasitas kanal tanpa penambahan SNR (*Signal to Noise Ratio*), daya serta *bandwidth*. Pada penerapan antenna dalam perangkat portabel, dibutuhkan dimensi antenna yang ringkas dan kecil. Jenis antenna yang memiliki dimensi kecil adalah antenna mikrostrip.

Tahapan perancangan antenna dimulahi dari pemilihan model antenna mikrostrip, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak CST MICROWAVE STUDIO® (CST MWS). Beberapa kali simulasi telah dilakukan guna mendapat hasil yang sesuai dengan spesifikasi awal. Tahap selanjutnya adalah realisasi prototipe antenna dan pengukuran antenna. Pada pengukuran parameter VSWR, impedansi, dan parameter S, kondisi pengukuran masing-masing port terhubung ke port *network analyzer* atau ON-ON. Sedangkan kondisi pengukuran pola radiasi, polarisasi, dan *gain* adalah ketika port satu diukur, port yang lain tidak terhubung atau ON-OFF.

Hasil pengukuran serta pengujian antenna adalah sebagai berikut. Nilai VSWR pada frekuensi kerja 2,3-2,39 GHz pada port 1 adalah 1,556 dan port 2 adalah 1,466. Nilai impedansi port 1 adalah $43,121-0,050134j \Omega$ dan port 2 adalah $40,46-11,848j \Omega$ pada frekuensi tengah 2,345 GHz. Nilai S11 adalah -14,701 dB, nilai S22 adalah -13,896 dB, nilai S21 adalah -17,098 dB, dan nilai S12 adalah -17,05 dB pada frekuensi tengah 2,345 GHz. *Gain* antenna port 1 adalah 2,656 dBi dan port 2 adalah 2,287 dBi untuk frekuensi tengah 2,345 GHz. Dimensi akhir antenna adalah 67,2 mm x 29,5 mm x 1,6 mm.

Kata kunci : antenna mikrostrip, mikrostrip lingkaran, sistem MIMO, isolasi, korelasi.

DESIGN ANALYSIS OF CIRCULAR MICROSTRIP MIMO ANTENNA FOR NOMADIC BROADBAND WIRELESS ACCESS (BWA) AT 2.3 GHZ

ABSTRACT

Broadband Wireless Access (BWA) is a wireless service with a wide bandwidth. Based on its mobilization, BWA can be classified into several types, and one of them is *Nomadic BWA*. For practical uses, BWA applies a MIMO (*multiple-input multiple-output*) system to increase the canal capacity without increasing SNR (*Signal to Noise Ratio*) and bandwidth. When this antenna is applied to a mobile devices, it only needs a small antenna namely *microstrip antenna*.

The process of designing the antenna had several (four) stages. First, it started from selecting the model of *microstrip antenna*. Second, several simulations using CST MICROWAVE STUDIO® (CST MWS) software were carried out to obtain a similar result to the starting specification. Third, several simulations and measuring the antenna were conducted. When measuring the VSWR, impedance and S-parameter, each antenna ports were connected to *network analyzer* ports. However, when measuring the pattern of radiation, polarization and gain, only one measured port was connected to the *spectrum analyzer*.

The results of the experiment showed that the VSWR at 2.3-2.39 GHz, Port 1 had a value of 1.556 and Port 2 of 1.466. At 2.345 GHz, the value of Port 1 impedance was $43.121-0.050134j \Omega$ and Port 2 of $40.46-11.848j \Omega$. The value of S11 was -14.701 dB, S22 was -13.896 dB, S21 was -17.098 dB, and S12 was -17.05 dB. The gain value of Port 1 antenna was 2,656 dBi and Port 2 was 2,287 dBi. The final dimensions of the MIMO antenna were 67.2 mm x 29.5 mm x 1.6 mm.

Keywords : *microstrip antenna, circular microstrip antenna, MIMO system, isolation, correlation.*

1 PENDAHULUAN

Broadband Wireless Access (BWA) merupakan suatu jaringan akses nirkabel pita lebar. BWA dapat dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan mobilitasnya, salah satunya adalah *BWA Nomadic*. *BWA Nomadic* merupakan suatu layanan

yang menerapkan akses nirkabel dimana lokasi terminal *end-user* dapat berpindah tempat, tetapi pada saat digunakan tidak bergerak. Jaringan dari layanan BWA ini merupakan kumpulan elemen jaringan akses nirkabel pita lebar yang terdiri dari *Base Station (BS)* dan *Subscriber Stasion (SS)*. Pada

masing-masing BS dan SS ini memiliki antenna yang bertindak sebagai pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik. Antena yang digunakan memiliki spesifikasi tersendiri.

Pada kebutuhan layanan BWA (*Broadband Wireless Access*) dikembangkan antena MIMO (*multiple-input multiple-output*) yang dapat memberikan peningkatan kapasitas kanal tanpa penambahan SNR (*Signal to Noise Ratio*), daya serta *bandwidth*. Penggunaan lebih dari satu antena mengakibatkan adanya kopling antar antena sehingga mengganggu laju data.

Antena yang akan dirancang adalah antena MIMO mikrostrip lingkaran dengan spesifikasi sebagai berikut.

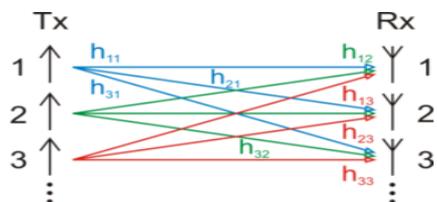
- Jenis perangkat : antena SS (*Subscriber Station*)
- Range frekuensi : 2300 – 2390 MHz
- Gain : maksimum 15 dBi
- Isolasi : maksimum -15 dB
- Impedansi : 50 Ω
- Polarisasi : linier
- VSWR : maksimum 1,9:1
- Daya input : maksimum 50 W
- Konektor : SMA-female

2 LANDASAN TEORI

2.1 MIMO

Sistem MIMO (*multiple-input multiple-output*) merupakan sistem transmisi (pengirim – penerima) dimana jumlah antena baik pengirim maupun penerima terdiri dari beberapa elemen antena (N antena pengirim dan M antena penerima). Proses sebelum sinyal dikirim melalui beberapa antena tersebut antara lain pengkodean, modulasi, mapping, yang dapat dilakukan secara terpisah atau tergabung dalam satu lengan antena.

Pada sistem komunikasi nirkabel, sinyal transmisi akan mengalami kerusakan akibat adanya *fading*, sehingga akan menurunkan performansi. Secara sederhana sistem MIMO adalah penggunaan lebih dari satu antena pada sisi pemancar (*transmitter*) dan pada sisi penerima (*receiver*) untuk meningkatkan performansi telekomunikasi. MIMO dengan ukuran matriks kanalnya $M \times N$.



Gambar 2.1 Antena MIMO Tx – Rx $M \times N$

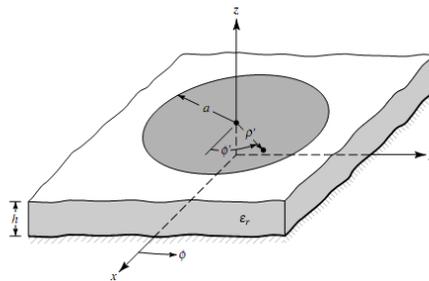
MIMO sendiri merupakan salah satu bentuk dari *Smart Antenna*. MIMO digunakan dalam teknologi

komunikasi nirkabel karena mempunyai kemampuan signifikan dalam meningkatkan data *throughput* tanpa adanya penambahan *bandwidth* maupun *transmit power* (daya pemancar).

2.2 ANTENA MIKROSTRIP

Antena adalah transformator atau struktur transmisi antara gelombang terbimbing (saluran transmisi) dengan gelombang ruang bebas [1]. Antena berfungsi sebagai pelepas energi elektromagnetik ke udara atau ruang bebas serta sebagai penerima energi elektromagnetik dari ruang bebas.

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang terdiri dari dua buah bahan konduktor (*patch* dan *groundplane*) dipisahkan dengan substrat dielektrik. *Conducting patch* pada antena mikrostrip dapat berupa berbagai macam bentuk tetapi persegi (*rectangular*) dan lingkaran (*circular*) adalah bentuk yang biasa digunakan. Bentuk-bentuk yang lain memiliki perhitungan dan proses analisis yang rumit. Pada penelitian ini akan dipakai bentuk *patch* lingkaran. Berikut adalah gambar geometri antena mikrostrip dengan bentuk *patch* lingkaran.



Gambar 2.2 Geometri antena mikrostrip dengan bentuk *patch* lingkaran [1]

Pada antena mikrostrip, besaran dari tinggi substrat dielektrik sangat kecil dibandingkan dengan panjang gelombang pada ruang hampa (λ_0). Karena ketebalan substrat jauh lebih tipis daripada panjang gelombang, maka antena mikrostrip *patch* lingkaran dianggap sebagai bidang planar dua dimensi untuk lebih memudahkan dalam analisis. Spesifikasi maupun dimensi dari antena menggunakan simbol yang biasa digunakan dan satuannya, konstanta dielektrik (ϵ_r), frekuensi resonansi (f_r dalam Hz), tinggi substrat dielektrik (h dalam cm) dan jari-jari lingkaran (a dalam cm). Prosedur perancangan praktis dari antena mikrostrip *patch* lingkaran akan menggunakan mode dominan TM_{110}^z . Analisis matematis didasarkan pada Fungsi Bessel dimana menggunakan metode cavity dalam perhitungannya.

$$(f_r)_{mn0} = \frac{x'_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} \quad (2.1)$$

X'_{mn} merupakan turunan dari Fungsi Bessel $J_m(x)$ dan keempat nilai pada mode awal adalah

$$\begin{aligned} X'_{11} &= 1,8412 & X'_{21} &= 3,0542 \\ X'_{01} &= 3,8318 & X'_{31} &= 4,2012 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dengan menggunakan mode dominan TM_{110}^Z , maka persamaan frekuensi resonansi untuk mode tersebut menjadi

$$(f_r)_{110} = \frac{1,8412}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1,8412 v_0}{2\pi a \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

Dimana v_0 adalah kecepatan cahaya di ruang hampa. Selanjutnya untuk menghitung dimensi fisik mikrostrip lingkaran antenna menggunakan persamaan berikut

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2} \quad (2.4)$$

Dengan a jari-jari fisik *patch* lingkaran dihitung menggunakan persamaan berikut

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (2.5)$$

Dimana

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.6)$$

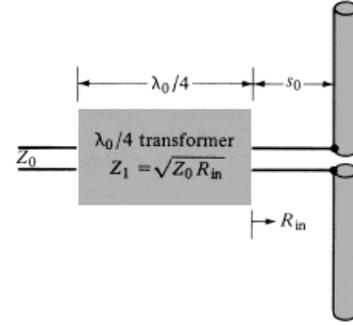
2.3 TEKNIK PENCATUAN ANTENA

Teknik pencatuan antenna mikrostrip dapat dilakukan secara langsung menggunakan teknik probe koaksial atau dengan menggunakan *microstrip line*. Pencatuan juga bisa dilakukan secara tidak langsung yaitu dengan menggunakan kopling elektromagnetik, dimana tidak ada kontak metalik langsung antara *feed line* dan *patch* atau teknik CPW *feed*.

Pada penelitian ini digunakan teknik pencatuan *microstrip line*. Pencatuan dilakukan dengan cara menghubungkan jalur pencatuan dengan *patch*, dimana *patch* dan line pencatuan menggunakan bahan yang sama yang dipabrikasi dengan cara *etching*-kan.

Keuntungan teknik pencatuan ini adalah mudah dalam proses pabrikan karena *feed line* dan elemen peradiasi (*patch*) dicetak pada substrat yang sama. Penyepadanan impedansi pada teknik ini juga lebih sederhana jika dibandingkan dengan teknik pencatuan yang lain. Metode *matching impedance* yang digunakan biasanya menggunakan transformator $\lambda_0/4$.

Penyepadanan pada saluran transmisi bisa dilakukan dengan banyak cara, misal dengan menggunakan transformator $\lambda_0/4$, stub paralel, dan stub seri. Penyepadanan diperlukan jika impedansi saluran transmisi tidak sama dengan impedansi beban. Transformator $\lambda_0/4$ digunakan untuk menyepadankan suatu saluran imbang dengan beban tak imbang atau sebaliknya.



Gambar 2.3 Teknik penyepadanan Transformator $\lambda_0/4$ ^[1]

Syarat *matching* $Z_{in} = Z_0$. Sehingga beban dipasang sejauh d dari transformator $\lambda_0/4$. Untuk memperoleh nilai Z_T , dapat digunakan persamaan ^[1]:

$$Z_T = \sqrt{Z_0 Z_L} \quad (2.7)$$

Perhitungan panjang gelombang λ_0 digunakan persamaan :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad (2.8)$$

Dengan c adalah cepat rambat cahaya di udara dan f_r adalah frekuensi resonansi. Perhitungan lebar catuan mikrostrip digunakan persamaan :

$$W = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (2.9)$$

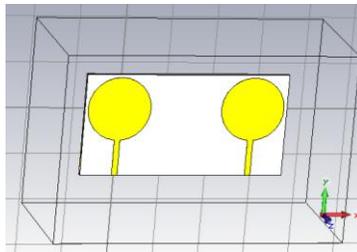
Dimana

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.10)$$

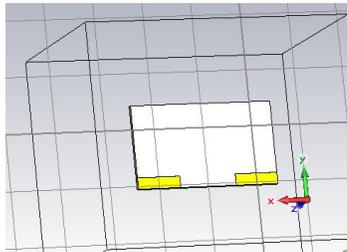
3 PERANCANGAN DAN REALISASI

3.1 Perancangan Antena

Perhitungan dimensi antenna menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6) dan didapat jari-jari *patch* lingkaran a sebesar $17,55177384 \text{ mm}$. Selanjutnya dihitung luas minimum *groundplane* antenna dan didapat luas minimum *groundplane* antenna A_g sebesar $44,7035476891993 \text{ mm}^2$. Kemudian dihitung juga saluran pencatu antenna yang meliputi panjang dan lebar *feedline*. Panjang *feedline* menggunakan ukuran $\lambda_0/4$ sebagai saluran istimewa dengan menggunakan persamaan (2.8) dan didapat panjang *feedline* $\frac{\lambda_0}{4}$ sebesar $31,982942 \text{ mm}$. Sedangkan lebar *feedline* tergantung kepada impedansi beban yang diinginkan. Pada penelitian ini besar impedansi adalah 50Ω . Untuk menghitung lebar *feedline* digunakan persamaan (2.9) dan (2.10) dan didapat lebar *feedline* W sebesar $3,11427397 \text{ mm}$. Gambar konstruksi antenna MIMO yang akan disimulasikan terlihat pada gambar 3.1.



(a)



(b)

Gambar 3.1 Bentuk antenna MIMO yang disimulasikan pada CST MWS (a) Tampak depan (b) Tampak belakang

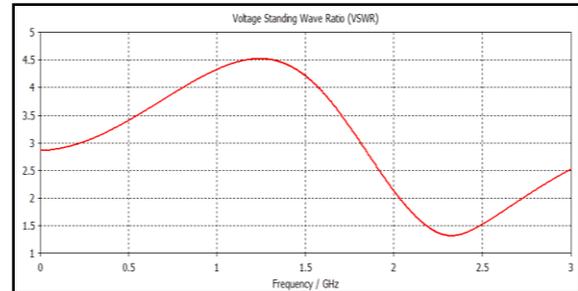
3.2 Simulasi Antena

Setelah dilakukan perhitungan antena, selanjutnya dimensi antena tersebut digambar secara konstruktif pada CST MWS untuk disimulasikan. Gambar antena yang disimulasikan terlihat pada gambar 3.1. Simulasi dilakukan beberapa kali sampai didapat hasil yang sesuai dengan spesifikasi awal antena. Pada proses pengulangan simulasi, dilakukan optimasi dimensi antena sehingga dimensi akhir antena berbeda dengan dimensi awal hasil perhitungan. Berikut adalah tabel perbandingannya.

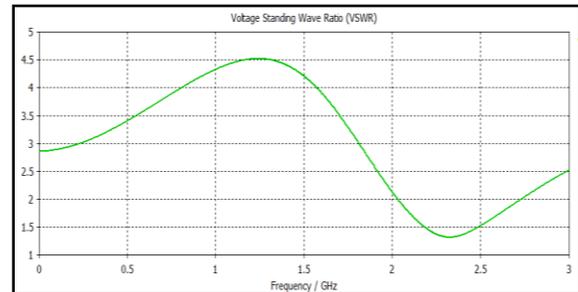
Tabel 3.3 Perbandingan dimensi antena antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi akhir

Variabel	Dimensi perhitungan	Dimensi simulasi
Jari-jari patch lingkaran (a)	17,55177384 mm	7,4 mm
Panjang feedline	31,982942 mm	13,5 mm
Lebar feedline	3,11427397 mm	1,3 mm
Jarak antar patch	30,8470888381927 mm	35,2 mm
Luas groundplane	Minimal 44,7035476891993 mm ²	Minimal 24,4 mm ² Simulasi (2 x 68,8) mm ²

Sedangkan hasil simulasi meliputi VSWR, Parameter S, dan Pola Radiasi terlihat pada gambar berikut.

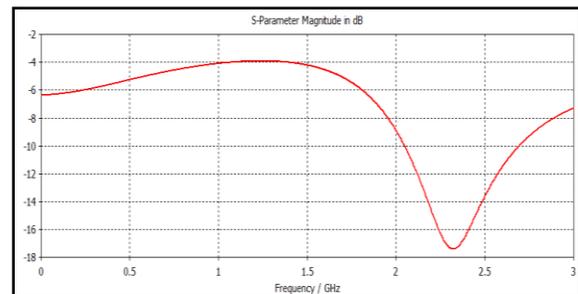


(a)

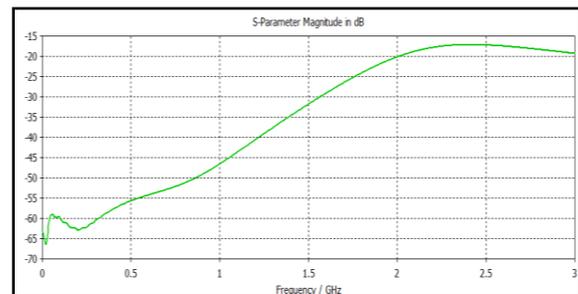


(b)

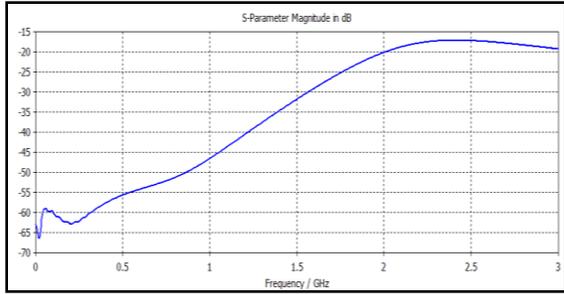
Gambar 3.2 Hasil Simulasi VSWR (a) port 1 (b) port 2



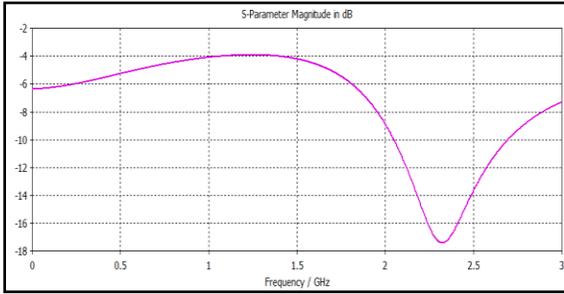
(a)



(b)

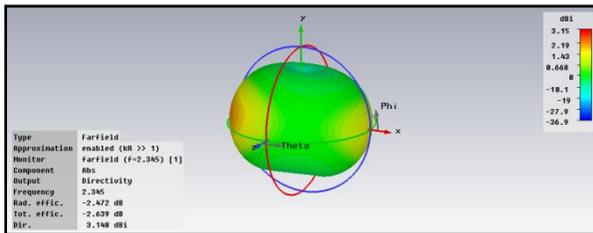


(c)

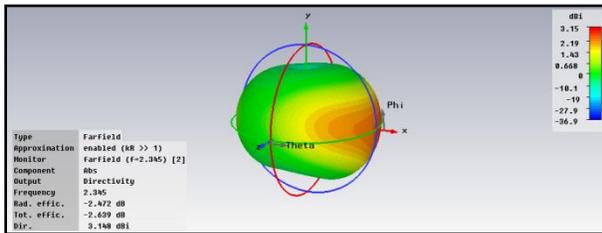


(d)

Gambar 3.3 Hasil Simulasi Parameter S (a) S11 (b) S21 (c) S12 (d) S22



(a)



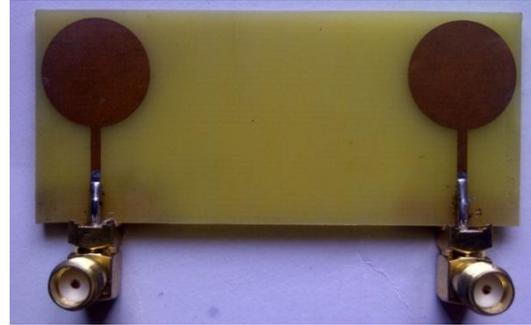
(b)

Gambar 3.4 Hasil simulasi tiga dimensi direktivitas absolut dari farfield (a) port 1 (b) port 2

3.3 Prototipe Antena

Setelah dilakukan simulasi untuk mendapat hasil yang diinginkan sesuai dengan spesifikasi awal, maka prototipe antena MIMO dapat dibuat. Ukuran antena prototipe sesuai dengan hasil simulasi akhir, yaitu 67,2 mm x 29,5 mm x 1,6 mm. Antena MIMO ini memiliki 2 port dengan menggunakan port SMA

female. Berikut adalah prototipe antena yang telah dibuat.

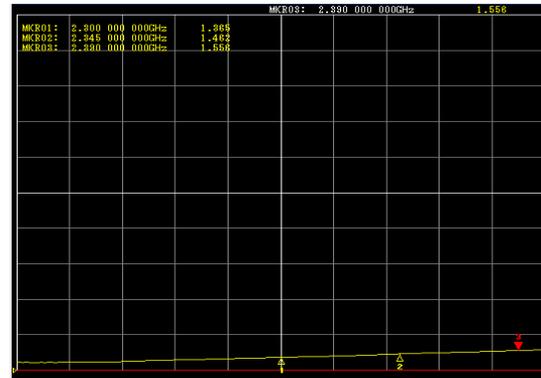


Gambar 3.5 Prototipe antena MIMO

4 PENGUKURAN DAN ANALISIS

4.1 Pengukuran Antena

Setelah prototipe antena direalisasikan, selanjutnya dilakukan pengukuran prototipe tersebut. Parameter yang diukur meliputi VSWR, impedansi, parameter S, pola radiasi, polarisasi, dan gain. Hasil pengukuran terlihat pada gambar-gambar sebagai berikut.

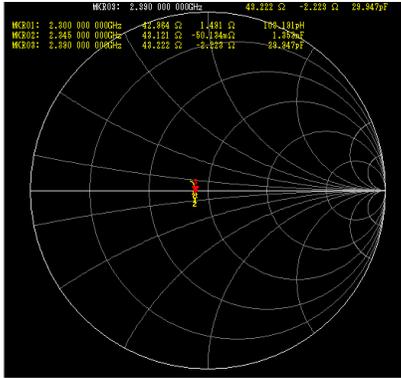


(a)

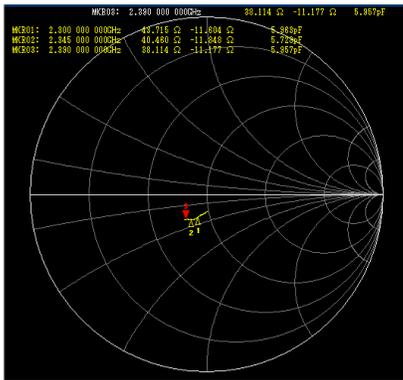


(b)

Gambar 4.1 Hasil Pengukuran VSWR Antena (a) Port 1 (b) Port 2



(a)

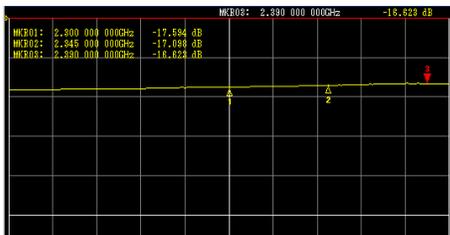


(b)

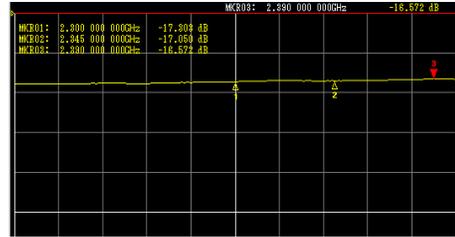
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Impedansi Antena
(a) Port 1 (b) Port 2



(a)



(b)

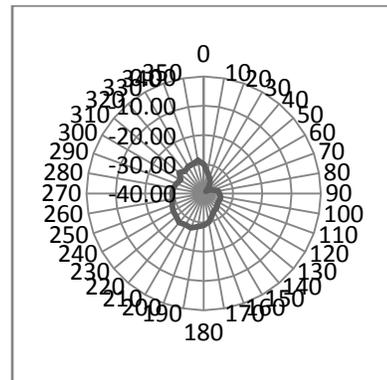


(c)

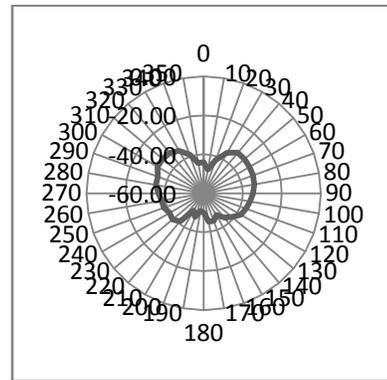


(d)

Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Antena
Parameter S (a) S11 (b) S21 (c) S12 (d) S22

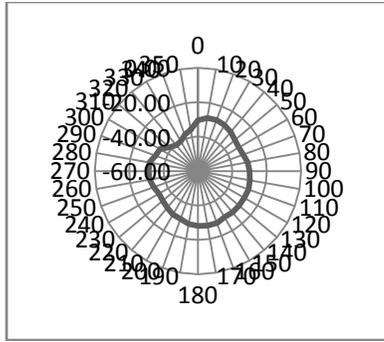


(a)

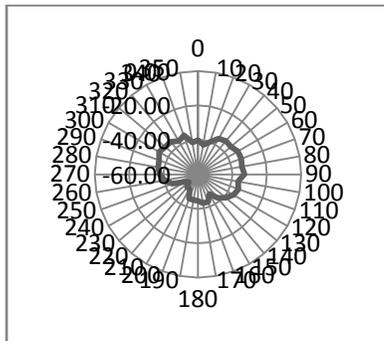


(b)

Gambar 4.4 Hasil pengukuran pola radiasi port 1
(a) Arah azimuth (b) Arah elevasi

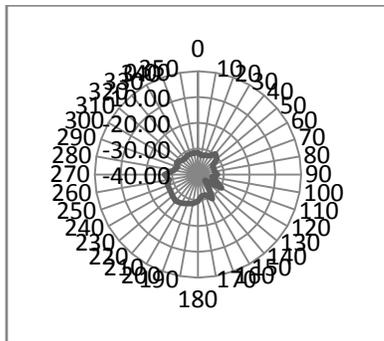


(a)

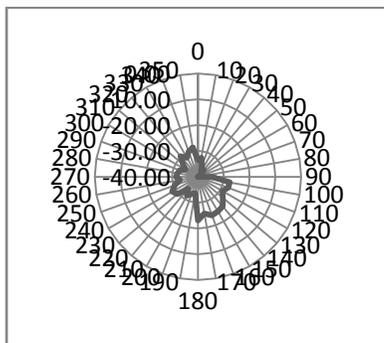


(b)

Gambar 4.5 Hasil pengukuran pola radiasi port 2
(a) Arah azimuth (b) Arah elevasi



(a)



(b)

Gambar 4.6 Hasil pengukuran polarisasi
(a) Port 1 (b) Port 2

Pengukuran *gain* dilakukan pada frekuensi tengah antenna 2,345 GHz pada port 1 dan port 2. Didapat rata-rata daya port 1 adalah -29,96 dBm, port 2 adalah -30,329 dBm, dan antenna referensi -30,476 dBm. Didapat nilai *gain* untuk port 1 dan port 2.

$$G_{AUT} = P_{AUT} - P_{ref} + 2,14 \text{ dBi} \quad (4.1)$$

$$G_{port\ 1} = -29,96 \text{ dBm} - (-30,329 \text{ dBm}) + 2,14 \text{ dBi} = 2,656 \text{ dBi}$$

$$G_{port\ 2} = -30,329 \text{ dBm} - (-30,476 \text{ dBm}) + 2,14 \text{ dBi} = 2,287 \text{ dBi}$$

4.2 Analisis perbandingan spesifikasi awal dengan hasil pengukuran

Tabel 4.1 Perbandingan Spesifikasi Awal dengan Hasil Pengukuran

Parameter	Spesifikasi Awal	Hasil Pengukuran	Keterangan
VSWR	≤ 1,9	<ul style="list-style-type: none"> Port 1 pada frekuensi 2,3 GHz adalah 1,365 dan pada frekuensi 2,39 GHz adalah 1,556 Port 2 pada frekuensi 2,3 GHz adalah 1,466 dan pada frekuensi 2,39 GHz adalah 1,438 	Memenuhi
Impedansi input	50 Ω	Port 1 = 43,121 - 0,050134j Ω Port 2 = 40,46 - 11,848j Ω	Tidak Memenuhi
Isolasi (S12 dan S21)	< -15 dB	S12 = -17,05 dB S21 = -17,098 dB	Memenuhi
S11 dan S22	-	S11 = -14,701 dB S22 = -13,896 dB	-
Pola Radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Memenuhi
Polarisasi	Linier	Elips	Tidak Memenuhi
Gain	< 15 dBi	Port 1 = 2,656 dBi Port 2 = 2,287 dBi	Memenuhi

Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan spesifikasi awal antenna dengan hasil pengukuran antenna. Pada parameter VSWR, isolasi, pola radiasi, dan gain sudah memenuhi syarat. Sedangkan parameter impedansi dan polarisasi tidak memenuhi syarat.

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan tidak *matching*-nya impedansi input dengan saluran *feeder*. Nilai ideal VSWR adalah 1 yang artinya impedansi input dan saluran *feeder matching* sehingga tidak ada

pantulan. Pada perancangan ini dipersyaratkan nilai $VSWR \leq 1,9$ artinya pantulan boleh terjadi pada batas toleransi tersebut. Pada hasil pengukuran menunjukkan nilai $VSWR$ pada port 1 dan port 2 berbeda tetapi keduanya memenuhi spesifikasi awal. Parameter $VSWR$ ini harus dipenuhi karena berhubungan dengan frekuensi kerja antenna. Jika nilai $VSWR$ tidak terpenuhi, maka dapat dikatakan bahwa antenna tersebut tidak bekerja pada frekuensi yang dipersyaratkan.

Impedansi input berhubungan dengan nilai $VSWR$. Jika nilai $VSWR$ ideal (bernilai 1) maka impedansi input dan saluran *feeder matching* artinya memiliki nilai yang sama. Sesuai dengan hasil pengukuran $VSWR$ pada port 1 dan port 2 dengan nilai $VSWR$ tidak ideal (>1) maka nilai impedansi input pun tidak *matching* dengan saluran *feeder*. Jadi nilai pengukuran impedansi input yang tidak memenuhi syarat adalah akibat dari nilai $VSWR$ yang tidak ideal. Hal ini dapat diterima karena nilai $VSWR$ yang dipersyaratkan pun $\leq 1,9$.

Parameter isolasi ditandai dengan nilai parameter S , pada perancangan ini adalah nilai S_{12} dan S_{21} . Parameter isolasi diukur apabila terdapat lebih dari satu elemen antenna. Pada perancangan ini jumlah elemen antenna adalah dua buah. Nilai isolasi yang dipersyaratkan adalah < -15 dB, syarat ini terpenuhi dengan nilai S_{12} adalah $-17,05$ dB dan nilai S_{21} adalah $-17,098$ dB. Nilai isolasi dipengaruhi oleh jarak antar elemen antenna. Makin jauh jarak antar elemen antenna maka makin kecil nilai isolasinya dan makin dekat jarak antar elemen antenna maka makin besar nilai isolasinya.

Pola radiasi atau pola pancar antenna pada perancangan ini sesuai dengan karakteristik jenis antenna yang digunakan antenna mikrostrip yaitu unidireksional. Pola radiasi unidireksional memiliki arah pancaran terbesar hanya ke satu arah saja. Pada hasil pengukuran antenna ini menunjukkan pola radiasi pada port 1 dan port 2 memiliki arah pancar yang berbeda tetapi tetap unidireksional. Hal ini memberikan keuntungan tersendiri karena pola radiasi yang baik pada penempatan antenna di sisi pelanggan adalah omnidireksional.

Polarisasi merupakan gambaran orientasi medan listrik dalam arah propagasinya. Bentuk polarisasi yang dipersyaratkan pada perancangan ini adalah polarisasi linier. Pada hasil pengukuran didapat bentuk polarisasi yang mendekati elips. Bentuk polarisasi pada port 1 dan port 2 berbeda, pada port 2 bentuk elips lebih terlihat sedangkan port 1 bentuk polarisasi elips mendekati lingkaran. Hal ini tidak dipermasalahkan karena bentuk polarisasi yang baik pada penempatan antenna di sisi pelanggan adalah polarisasi lingkaran.

Gain adalah penguatan dari suatu antenna. *Gain* merupakan perbandingan antara intensitas radiasi maksimum antenna terhadap intensitas radiasi maksimum dari suatu antenna referensi dengan daya masuk yang sama. Nilai *gain* pada perancangan ini dipersyaratkan < 15 dBi. Pada pengukuran antenna menunjukkan nilai *gain* port 1 dan port 2 berbeda tetapi masih memenuhi persyaratan. Batasan nilai *gain* ini sebenarnya aka nada dengan sendirinya karena penempatan antenna di sisi pelanggan yang memiliki sumber daya yang terbatas. Nilai *gain* ini pun akan terpenuhi karena karakteristik antenna yang digunakan antenna mikrostrip.

Diantara parameter-parameter antenna yang diukur ada yang memenuhi spesifikasi dan ada yang tidak memenuhi spesifikasi. Parameter-parameter antenna yang tidak memenuhi spesifikasi seperti *gain* terjadi akibat parameter yang lain ($VSWR$), sedangkan bentuk polarisasi yang tidak memenuhi syarat tidak dipermasalahkan karena bentuk polarisasi yang baik pada penempatan antenna di sisi pelanggan adalah bentuk polarisasi lingkaran. Sehingga berdasarkan analisis yang dilakukan atas parameter-parameter antenna tersebut maka antenna ini dapat diimplmentasikan untuk keperluan BWA (*Broadband Wireless Access*) *Nomadic* pada frekuensi 2,3 GHz dengan system MIMO 2x2.

5 KESIMPULAN

Perancangan antenna MIMO mikrostrip lingkaran sudah dilakukan dengan tahapan proses mulai dari penentuan spesifikasi awal, pemilihan model antenna MIMO, simulasi antenna menggunakan perangkat lunak CST MWS, realisasi prototipe antenna, pengukuran antenna serta analisis. Spesifikasi akhir antenna yang telah dirancang adalah sebagai berikut.

1. Dimensi antenna mikrostrip adalah $67,2$ mm x $29,5$ mm x $1,6$ mm.
2. Nilai $VSWR$ untuk frekuensi kerja 2,3-2,39 GHz pada port 1 adalah $1,556$ dan pada port 2 adalah $1,466$.
3. Nilai impedansi port 1 adalah $43,121-0,050134j$ Ω dan port 2 adalah $40,46-11,848j$ Ω pada frekuensi tengah $2,345$ GHz.
4. Nilai S_{11} adalah $-14,701$ dB, nilai S_{22} adalah $-13,896$ dB, nilai S_{21} adalah $-17,098$ dB, dan nilai S_{12} adalah $-17,05$ dB pada frekuensi tengah $2,345$ GHz.
5. Besar *gain* antenna pada port 1 adalah $2,656$ dBi dan pada port 2 adalah $2,287$ dBi untuk frekuensi tengah $2,345$ GHz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory : Analysis Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- [2]. Blanch, S., Romeu, J., & Corbella, I. (2003). Exact representation of antenna system diversity performance from input parameter description. *IEEE* , 705-7-7.
- [3]. Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., & Ittipiboon, A. (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston London: Artech House.
- [4]. Jamill, A., Yusoff, M. Z., & Yahya, N. *Current Issue and Challenges of MIMO Antenna Designs*. Perak: Universiti Teknologi PETRONAS.
- [5]. Keshtkar, A., Keshtkar, A., & Dastkhosh, A. (2008). Circular Microstrip Patch Antenna for C-Band Altimeter System. *International Journal of Antennas and Propagation* .
- [6]. Manteuffel, D. (2009). MIMO Antenna Design Challenges. *Antennas & Propagation Conference*. Loughborough: IEEE.
- [7]. Peraturan Direktur Jenderal Pos Dan Telekomunikasi Nomor: 96/DIRJEN/2008 tentang Persyaratan Teknis Alat Dan Perangkat Telekomunikasi Antena Broadband Wireless Access (BWA) *Nomadic* Pada Pita Frekuensi 2.3 GHz. (n.d.).
- [8]. Recommended Antenna Specifications. (2000, 1 6). *IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group* .